

# 航空發動機 空气动力学

D.庫赫曼、J.維貝爾著



國防工業出版社

# 航空發動機空氣動力學

D. 庫赫曼、J. 維貝爾著  
張玉良譯



國防工業出版社

## 內容簡介

D. 庫赫曼和 J. 維貝爾的這本著作是就亞音速航空發動機空氣動力學進行了普遍的探討。書中的材料對於解決航空技術和火箭技術的實際問題有其現實意義，它可供實驗設計局的工作人員和航空學院學生參考用。此外，它還有助於研究理論空氣動力學的學者們和學生們。

英國 D. KÜHEMANN, J. WEBER 著  
'AERODYNAMICS OF PROPULSION'

(根據1956年俄文版譯出)

\*

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 號  
北京西四印刷廠印刷 新華書店發行

\*

850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印張11<sup>4</sup>/<sub>16</sub>·287千字

1959年3月第一版

1959年3月第一次印刷

印數：0,001—1,500冊 定價：(11)2.10元

№ 2243 統一書號15034·284

# 目 录

著者序 .....	8
第一章 緒 論 .....	9
第一节 飞行运动原理 .....	9
第二节 航空發动机应具备的性能 .....	12
第三节 本書的目的和內容 .....	14
参考文献 .....	16
第二章 一元流动的基本运动过程 .....	17
第一节 热力学基础 .....	17
第二节 从热能转换为气流的机械能 .....	22
第三节 运动力的产生与动量原理 .....	28
第四节 推力的产生与效率 .....	31
第五节 向气流加入机械能的發动机装置 .....	34
第六节 向气流加入热能的發动机装置 .....	37
第七节 向气流加入热能和机械能的發动机装置 .....	43
第八节 各种發动机系统的共同特性 .....	45
練習 .....	46
参考文献 .....	47
第三章 二元非均匀流动的問題 .....	48
第一节 航空發动机装置的非均匀流动 .....	48
第二节 位流和异点法 .....	50
第三节 等角轉繪法和速端曲綫法 .....	54
第四节 非均匀气流如何轉繪为等值的均匀气流及其計算法 .....	57
第五节 薄壁进气道气流流动的計算法 .....	60
第六节 开露式散热器气流流动的計算法 .....	62
練習 .....	68
参考文献 .....	69
第四章 进气道 .....	70
第一节 發动机外罩和进气道的作用 .....	70
第二节 最佳进气口的基本关系式 .....	72

第三节	空气压缩性的影响 .....	77
第四节	用异点法计算进气道的构形 .....	81
第五节	用等角转画法求平面进气道的形状 .....	86
第六节	圆形进气道 .....	91
第七节	NACA-1 圆形进气道 .....	100
第八节	空间进气口概述 .....	103
第九节	进气道的内部通路 .....	106
練習 .....		110
参考文献 .....		111
第五章	有限长的发动机外罩 .....	112
第一节	外罩尾部附近的气流流动 .....	112
第二节	恒定压力分布的厚外罩，渦空法 .....	116
第三节	安装在翼前缘的二元进气道 .....	120
第四节	薄环状翼型的理论 .....	123
第五节	沿轴向弧负载不变的翼型 .....	127
第六节	流过环状翼型的气流及力的分布 .....	129
第七节	薄双重翼型的理论 .....	132
第八节	环状外罩特性的若干实验数据 .....	133
第九节	外罩表面推力和阻力的分布 .....	136
練習 .....		138
参考文献 .....		139
第六章	函洞式螺旋桨 .....	140
第一节	理想气流中的推力和效率 .....	140
第二节	气流粘性及其它因素的影响 .....	142
第三节	外罩的设计 .....	144
第四节	关于推力和效率的若干实验数据 .....	149
第五节	应用范围 .....	151
練習 .....		154
参考文献 .....		154
第七章	冲压式喷气发动机 .....	155
第一节	理想工作过程。定压和定面积条件下的燃烧 .....	155
第二节	压缩气流的若干参数 .....	158
第三节	恒定面积燃烧室的气流流动 .....	159

第四节	噴口中的气流流动	164
第五节	理想推力和理想效率	166
第六节	理想工作过程的偏离	170
第七节	冲压式發动机效率的實驗值及与脉动式噴气發动机的比較	173
第八节	超音速冲压式發动机概述	175
練習		180
参考文献		181
第八章	渦輪噴气式發动机	182
第一节	燃燒室出口溫度、壓縮器效率和渦輪效率对發动机总效率的影响	182
第二节	壓縮比对壓縮器效率的影响	188
第三节	軸向式壓縮器和离心式壓縮器	190
第四节	燃燒室	191
第五节	渦輪噴气式發动机的一般性能	194
練習		199
参考文献		200
第九章	噴气式發动机在飞机上的安装	202
第一节	由于發动机在飞机上安装的位置不同而引起的損失	202
第二节	进气道前和进气道通路内的气流損失	207
第三节	有流入气流損失时, 噴气式發动机的推力和燃料消耗量	212
第四节	求推力損失系数的另一方法	218
第五节	内部通路損失对渦輪噴气式發动机性能的影响	220
第六节	通路損失对函洞式風扇的影响	221
第七节	把机翼的流迹引入發动机	224
第八节	进气道前流入气流損失的實驗数据	228
第九节	吞没式进气道流入气流損失的實驗数据	235
第十节	安装在机身上的發动机的外部干扰阻力	241
第十一节	發动机艙与机翼間的外部干扰阻力	248
第十二节	流入气流損失所产生的各种后果及外部阻力	254
練習		255
参考文献		256
第十章	关于噴射流的問題	257

第一节	喷射流在静止空气中的传播	257
第二节	喷射流在运动空气中的传播	260
第三节	喷射流在斜流中的传播	262
第四节	壁面对喷射流传播的影响	264
第五节	喷射流对其附近翼面的影响	266
練習		270
参考文献		271
第十一章	自然界的飞行空气动力学	272
第一节	生物飞行的方法	272
第二节	扑翼与简单螺旋桨的比较	274
第三节	模型实验的若干成果	278
第四节	生物飞行原理在航空技术上的应用	281
参考文献		284
第十二章	散热	285
第一节	直通路中的散热器	285
第二节	斜面气流中的散热器	294
第三节	扩压进气管	298
第四节	散热器后的通路	303
第五节	散热面的计算	306
第六节	散热过程中的功率损失	313
第七节	特殊类型的散热装置	317
第八节	中间散热	321
練習		325
参考文献		326
附录	常用异点的流函数和分速度	328
第一节	空间点泉	328
第二节	二元点泉	330
第三节	微元旋涡	331
第四节	二元旋涡	331
第五节	涡环	332
第六节	点泉环	339
第七节	偶极环	344
第八节	点泉环上强度变化的分布	345

第九节 沿圓柱的旋渦分布.....	345
第十节 点泉沿圓面的均匀分布.....	347
第十一节 沿二平行綫的旋渦分布.....	353
第十二节 积分計算.....	358
参考文献.....	360



# 航空發動機空氣動力學

D. 庫赫曼、J. 維貝爾著

張玉良譯



國防工業出版社

## 內容簡介

D. 庫赫曼和 J. 維貝爾的這本著作是就亞音速航空發動機空氣動力學進行了普遍的探討。書中的材料對於解決航空技術和火箭技術的實際問題有其現實意義，它可供實驗設計局的工作人員和航空學院學生參考用。此外，它還有助於研究理論空氣動力學的學者們和學生們。

英國 D. KÜHEMANN, J. WEBER 著  
'AERODYNAMICS OF PROPULSION'

(根據1956年俄文版譯出)

\*

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 號  
北京西四印刷廠印刷 新華書店發行

\*

850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印張11<sup>4</sup>/<sub>16</sub>·287千字

1959年3月第一版

1959年3月第一次印刷

印數：0,001—1,500冊 定價：(11)2.10元

№ 2243 統一書號15034·284

# 目 录

著者序 .....	8
第一章 緒 論 .....	9
第一节 飞行运动原理 .....	9
第二节 航空發动机应具备的性能 .....	12
第三节 本書的目的和內容 .....	14
参考文献 .....	16
第二章 一元流动的基本运动过程 .....	17
第一节 热力学基础 .....	17
第二节 从热能轉換为气流的机械能 .....	22
第三节 运动力的产生与动量原理 .....	28
第四节 推力的产生与效率 .....	31
第五节 向气流加入机械能的發动机装置 .....	34
第六节 向气流加入热能的發动机装置 .....	37
第七节 向气流加入热能和机械能的發动机装置 .....	43
第八节 各种發动机系统的共同特性 .....	45
練習 .....	46
参考文献 .....	47
第三章 二元非均匀流动的問題 .....	48
第一节 航空發动机装置的非均匀流动 .....	48
第二节 位流和异点法 .....	50
第三节 等角轉繪法和速端曲綫法 .....	54
第四节 非均匀气流如何轉繪为等值的均匀气流及其計算法 .....	57
第五节 薄壁进气道气流流动的計算法 .....	60
第六节 开露式散热器气流流动的計算法 .....	62
練習 .....	68
参考文献 .....	69
第四章 进气道 .....	70
第一节 發动机外罩和进气道的作用 .....	70
第二节 最佳进气口的基本关系式 .....	72

第三节	空气压缩性的影响 .....	77
第四节	用异点法计算进气道的构形 .....	81
第五节	用等角转画法求平面进气道的形状 .....	86
第六节	圆形进气道 .....	91
第七节	NACA-1 圆形进气道 .....	100
第八节	空间进气口概述 .....	103
第九节	进气道的内部通路 .....	106
練習 .....		110
参考文献 .....		111
第五章	有限长的发动机外罩 .....	112
第一节	外罩尾部附近的气流流动 .....	112
第二节	恒定压力分布的厚外罩，涡空法 .....	116
第三节	安装在翼前缘的二元进气道 .....	120
第四节	薄环状翼型的理论 .....	123
第五节	沿轴向弧负载不变的翼型 .....	127
第六节	流过环状翼型的气流及力的分布 .....	129
第七节	薄双重翼型的理论 .....	132
第八节	环状外罩特性的若干实验数据 .....	133
第九节	外罩表面推力和阻力的分布 .....	136
練習 .....		138
参考文献 .....		139
第六章	函洞式螺旋桨 .....	140
第一节	理想气流中的推力和效率 .....	140
第二节	气流粘性及其它因素的影响 .....	142
第三节	外罩的设计 .....	144
第四节	关于推力和效率的若干实验数据 .....	149
第五节	应用范围 .....	151
練習 .....		154
参考文献 .....		154
第七章	冲压式喷气发动机 .....	155
第一节	理想工作过程。定压和定面积条件下的燃烧 .....	155
第二节	压缩气流的若干参数 .....	158
第三节	恒定面积燃烧室的气流流动 .....	159

第四节	噴口中的气流流动	164
第五节	理想推力和理想效率	166
第六节	理想工作过程的偏离	170
第七节	冲压式發動机效率的實驗值及与脉动式噴气發動机的比較	173
第八节	超音速冲压式發動机概述	175
練習		180
参考文献		181
第八章	渦輪噴气式發動机	182
第一节	燃燒室出口溫度、壓縮器效率和渦輪效率对發動机总效率的影响	182
第二节	壓縮比对壓縮器效率的影响	188
第三节	軸向式壓縮器和离心式壓縮器	190
第四节	燃燒室	191
第五节	渦輪噴气式發動机的一般性能	194
練習		199
参考文献		200
第九章	噴气式發動机在飞机上的安装	202
第一节	由于發動机在飞机上安装的位置不同而引起的損失	202
第二节	进气道前和进气道通路内的气流損失	207
第三节	有流入气流損失时, 噴气式發動机的推力和燃料消耗量	212
第四节	求推力損失系数的另一方法	218
第五节	内部通路損失对渦輪噴气式發動机性能的影响	220
第六节	通路損失对函洞式風扇的影响	221
第七节	把机翼的流迹引入發動机	224
第八节	进气道前流入气流損失的實驗数据	228
第九节	吞没式进气道流入气流損失的實驗数据	235
第十节	安装在机身上的發動机的外部干扰阻力	241
第十一节	發動机艙与机翼間的外部干扰阻力	248
第十二节	流入气流損失所产生的各种后果及外部阻力	254
練習		255
参考文献		256
第十章	关于噴射流的問題	257

第一节	喷射流在静止空气中的传播	257
第二节	喷射流在运动空气中的传播	260
第三节	喷射流在斜流中的传播	262
第四节	壁面对喷射流传播的影响	264
第五节	喷射流对其附近翼面的影响	266
練習		270
参考文献		271
第十一章	自然界的飞行空气动力学	272
第一节	生物飞行的方法	272
第二节	扑翼与简单螺旋桨的比较	274
第三节	模型实验的若干成果	278
第四节	生物飞行原理在航空技术上的应用	281
参考文献		284
第十二章	散热	285
第一节	直通路中的散热器	285
第二节	斜面气流中的散热器	294
第三节	扩压进气管	298
第四节	散热器后的通路	303
第五节	散热面的计算	306
第六节	散热过程中的功率损失	313
第七节	特殊类型的散热装置	317
第八节	中间散热	321
練習		325
参考文献		326
附录	常用异点的流函数和分速度	328
第一节	空间点泉	328
第二节	二元点泉	330
第三节	微元旋涡	331
第四节	二元旋涡	331
第五节	涡环	332
第六节	点泉环	339
第七节	偶极环	344
第八节	点泉环上强度变化的分布	345

第九节 沿圓柱的旋渦分布.....	345
第十节 点泉沿圓面的均匀分布.....	347
第十一节 沿二平行綫的旋渦分布.....	353
第十二节 积分計算.....	358
参考文献.....	360

## 著者序

最近十几年来，空气动力学有了非常显著的成就。特别是由于目前使用的發動机种类很多，以及由于高速飞行的需要，因而产生了许多新的問題，这些新問題大大地扩展了应用空气动力学研究运动产生原因的范围。于是产生了空气动力学的一个新分枝，我們称之为航空發動机空气动力学。它补充了过去的机翼升力理論。

在本書中論述了有关航空發動机空气动力学的某些工作以及与这些工作有关的一些問題。因为本書是这門学科中最初的一本概論，当然还不能說它的内容是很詳尽的，同时書中也不可避免的反映了著者个人兴趣所好。但是，可使讀者滿意的是著者搜集了一些材料充实到書中的某些問題中，叙述这些材料时所采取的形式对于飞机設計師和發動机設計師以及对于科学工作者都是最为方便的和有用的。然而，这并不是說本書将載有詳細的圖样和現成的“方案”；著者的目的是为了帮助研究空气动力学的人們能够較快地、比較容易地理解气流流动中的各种現象和基本过程，以之帮助他們独立地研究問題，从而把自己的研究成果用于計算發動机系統和發動机的安装問題上。本書亦可供航空学院学生参考之用。实际上，犹如过去全面的研究問題时，不能不詳細的講解有关升力理論的問題，同样，在目前航空科学的課程中則应特別注意航空發動机的安装方法和空气动力計算的問題。为了便于学生們掌握書中的内容，同时为了扩大本書的范围，除微分計算外，不打算介紹有关普通空气动力学或高等数学方面的知識。

本書所参考的一些材料是根据原哥庭根空气动力研究所从1945年到1946年發表的一些論文，这些論文是由英国供应部的倡議而編写的。

季特里赫·庫赫曼，約干納·維貝尔  
1952年7月于英国弗倫堡



# 第一章 緒 論

## 第一节 飞行运动原理

有大量的实物現象可使我們非常容易地研究和解釋在航空技術中運動力產生的基本原理。假設有一個人站在車上，他不想直接利用地面的反作用力而欲使車前進。為此，他或者是把貯存在車上的物質向後拋擲，或者把周圍的物質向後推動（例如用槳划船），以使車獲得方向相反的运动。在任何情況下，他都必須利用由物質動量變化所形成的反作用力以獲得運動力。在本書中我們不去探討各種類型的火箭，而是集中力量去研究第二種方法的實際應用，即空氣從飛機周圍的介質流入發動機（在發動機內向空氣加入能量），然後在噴口內獲得很大的速度并向飛機运动的相反方向噴出。

發動機一般是使用液體燃料做能源。但是也有使用固體燃料的。燃料通過燃燒過程放出熱能；把熱能轉換為運動功，這是所有航空發動機的基本作用。因此我們應着重用空氣動力學的观点來研究向氣流加入能量的問題。

熱能轉換為有益機械功以產生運動力的方法很多。在管子的一定橫截面內（此橫截面稱為燃燒截面）用增高氣流溫度的方法向氣流加入熱是最為簡單的加入能量的方法。遺憾的是這種方法不能產生有效推力。參考本書第二章第六節，我們可知在這種情況下，由於氣流在燃燒截面內壓力降低和速度增加是同時進行的，所以，無論是在燃燒截面前或在燃燒截面後，流管都是膨脹的。雖然燃燒截面後的氣流速度超過了自由氣流的速度，但是該處的壓力却